

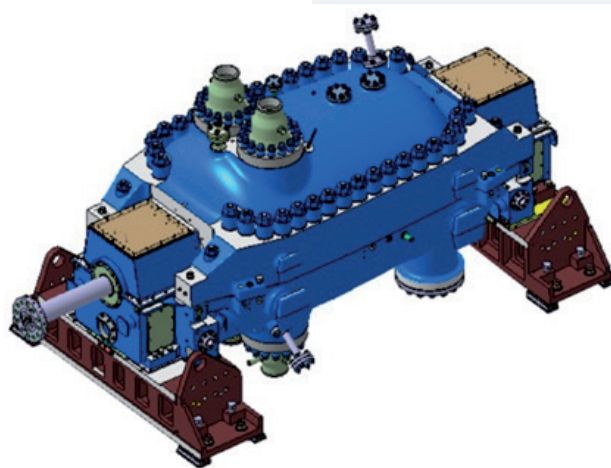
UN ENFOQUE MODULAR PARA LA TECNOLOGÍA TERMOSOLAR. TURBINAS DE VAPOR AVANZADAS Y CAMPO SOLAR CON TORRES DISTRIBUIDAS

CADA VEZ ES MÁS NECESARIO EL DESPLIEGUE DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y LAS EMISIONES DE CO₂ TANTO COMO SEA POSIBLE. LA ENERGÍA TERMOSOLAR REPRESENTA UN SEGMENTO PROMETEDOR DE LAS RENOVABLES Y ACTUALMENTE EVOLUCIONA RÁPIDAMENTE. TANTO EL CAMPO SOLAR, QUE ES EL ELEMENTO ESENCIAL DEL BLOQUE TERMOSOLAR, COMO EL TURBOGENERADOR A VAPOR, CON SUS ELEMENTOS AUXILIARES, CONSIDERADO TRADICIONALMENTE COMO UN ESTÁNDAR EN CUALQUIER BLOQUE DE POTENCIA, DEBEN ENFOCARSE DE UN MODO INNOVADOR, PARA HACER QUE SEA COMPETITIVA. DOOSAN ŠKODA POWER HA DISEÑADO TURBOGENERADORES DE VAPOR DEDICADOS EN EL RANGO DE 20 A 300 MW PARA APLICACIONES TERMOSOLARES BASADOS EN UN DISEÑO MODULAR DE LA TURBINA AMPLIAMENTE APLICADO. MIENTRAS SUMINISTRA BLOQUES DE POTENCIA PARA PROYECTOS TERMOSOLARES A GRAN ESCALA, ESTÁ APROVECHANDO UN ACUERDO A LARGO PLAZO CON LA START-UP DE TECNOLOGÍA TERMOSOLAR, VAST SOLAR, PARA OBTENER INFORMACIÓN ADICIONAL SOBRE LOS ASPECTOS OPERATIVOS Y DE PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS TERMOSOLARES A MEDIANA ESCALA.

Los fabricantes de turbinas de vapor invierten mucho en el desarrollo de tecnologías para las grandes unidades ultra-supercríticas, turbinas muy eficientes y flexibles para ciclos combinados y en el diseño de turbinas compactas de alta velocidad para aplicaciones especiales. A través de avances en materiales, en métodos de optimización numérica, en técnicas mejoradas de fabricación e instrumentación y control avanzados, la tecnología de turbinas de vapor está madurando mucho, aumentando la eficiencia de la turbina debido sobre todos a los mejores parámetros del vapor a la entrada y a una aero-eficiencia interna superior. Las turbinas de vapor para aplicaciones termosolares necesitan combinar inteligentemente todas estos aspectos.

Las tecnologías de campo solar existentes han evolucionado gradualmente desde los colectores cilindro-parabólicos aplicados en operación comercial desde hace décadas, hasta los concentradores de Fresnel de baja temperatura y coste, y concentradores tipo torre a pequeña escala. Si bien todas las tecnologías han mejorado significativamente, los receptores de torre más modernos, donde se alcanzan típicamente temperaturas de vapor de hasta 565 °C, representan para las turbinas de vapor los ciclos potencialmente más eficientes y los requisitos más estrictos. Mientras que ya se han aplicado altas temperaturas en grandes máquinas supercríticas, la aplicación termosolar requiere turbogrupos de menor tamaño, con alta flexibilidad operativa y aptos para funcionar en condiciones ambientales muy específicas. Esto se logra mediante el desarrollo y ensayo a largo plazo de: los álabes 3D, los sellos, las carcasas internas, las válvulas y otros componentes críticos.

En una instalación termosolar típica, se requiere que el bloque de potencia produzca electricidad de forma eficiente durante el período del día en el que hay sol y durante la noche con la reserva



Componente compacto de alta presión y alta velocidad de un generador de vapor para aplicación termosolar | Compact high-speed high pressure component for an STG for CSP application

MODULAR APPROACH TO CSP TECHNOLOGY. ADVANCED STEAM TURBINES AND A DISTRIBUTED TOWER SOLAR FIELD

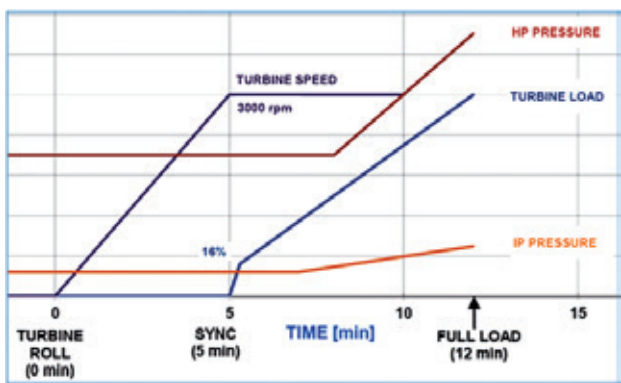
RENEWABLE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY NEED TO BE INCREASINGLY DEPLOYED TO REDUCE FOSSIL FUEL CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS AS MUCH AS POSSIBLE. CSP REPRESENTS A PROMISING AND CURRENTLY RAPIDLY EVOLVING RENEWABLE ENERGY SEGMENT. BOTH THE SOLAR FIELD, FORMING THE ESSENTIAL OF CSP BLOCK, AND STEAM TURBINE GENERATOR WITH ITS AUXILIARY COMPONENTS, TRADITIONALLY SEEN AS A STANDARD PART OF ANY POWER BLOCK, REQUIRE AN INNOVATIVE APPROACH TO MAKE IT COMPETITIVE. DOOSAN ŠKODA POWER HAS DESIGNED DEDICATED STEAM TURBINE GENERATORS IN THE RANGE OF 20-300 MW FOR CSP APPLICATIONS BASED ON A WIDELY-APPLIED TURBINE MODULAR DESIGN. WHILE POWER BLOCKS ARE SUPPLIED TO LARGE-SCALE CSP PROJECTS, A LONG-TERM PARTNERSHIP WITH CSP START-UP VAST SOLAR IS BEING USED TO GAIN ADDITIONAL INSIGHT INTO THE OPERATIONAL AND PLANNING ASPECTS OF MEDIUM-SCALE CSP PROJECTS.

Steam turbine manufacturers are investing heavily into the development of technologies for large ultra-super critical units, highly efficient and flexible turbines for combined cycles and in the design of compact high-speed turbines for special applications. Through advances in materials, numerical optimisation methods, improved manufacturing techniques, advanced instrumentation and control, steam turbine technology is quickly maturing, boosting turbine performance mainly due to higher inlet steam parameters and superior internal aero-efficiency. Steam turbines for CSP applications need to intelligently combine all these aspects.

Existing solar field technologies have gradually evolved from parabolic troughs that have been applied to commercial operations for decades to low-temperature/low-cost Fresnel concentrators and small-scale tower concentrators. Although all technologies have improved significantly, state-of-the-art tower receivers that can typically achieve steam temperatures of up to 565°C potentially represent the highest cycle efficiency and most stringent requirements for steam turbines. While

high temperatures have already been applied to large supercritical machines, CSP applications require smaller size turbosets with high operational flexibility and adapted to work in very specific ambient conditions. This is achieved through the long-term development and testing of 3D-shaped blades, seals, inner casings, valves and other critical components.

In a typical CSP installation, the power block is required to efficiently produce power during the day when the sun is shining and at night through its stored reserve. As



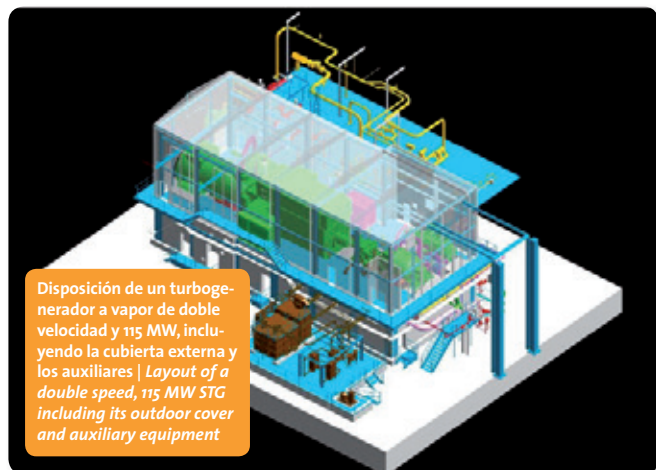
Arranque rápido en caliente después de 8 horas de parada
Rapid hot start after 8 hours shutdown

almacenada. Como resultado, los arranques y paradas frecuentes son algo inherente a la operación del bloque de potencia. Es necesario un enfoque apropiado del diseño para reducir los esfuerzos térmicos y cíclicos en los principales componentes de la turbina de vapor, para mantener una vida útil aceptable de la misma. Los niveles de esfuerzo térmico se deben evaluar cuidadosamente y han de ser confirmados por los resultados y experiencia de máquinas en funcionamiento. Los perfiles de la última fila de álabes y los añadidos en la base de los álabes deben diseñarse para un número sin precedentes de ciclos establecidos, equipados con contadores incorporados de consumo de vida útil.

Además de los esfuerzos térmicos locales sobre el rotor, las carcassas y los álabes, los cambios rápidos de potencia conducen a una importante falta de coincidencia térmica entre los componentes de la turbina, mientras que al mismo tiempo, el recorrido del flujo de vapor tiene que estar sellado de forma efectiva para alcanzar la máxima eficiencia. La falta de coincidencia térmica ha de ser reducida mediante una adecuada selección de materiales, y en muchas zonas críticas mediante sellos retráctiles o abrasivos, para garantizar una operación segura del turbogruppo. El control y protección estándar contra vibraciones, se complementa con el módulo de escentricidad del rotor, lo que facilita aceleraciones rápidas del turbogruppo, asistidas por el operador.

Durante la parada nocturna se puede producir una caída rápida de la temperatura y corrosión por la entrada de oxígeno del aire. Esto requiere un apropiado diseño del sistema de sellos acondicionado durante la noche con vapor auxiliar, encontrando una óptimo razonable entre la caída de temperatura y el consumo parásito de energía.

Los emplazamientos de instalaciones termosolares, con una excelente intensidad de la radiación directa, están ubicados normalmente en zonas desérticas, a menudo con mucha actividad sísmica. Los requisitos impuestos por las fuerzas sísmicas adicionales, hasta



Disposición de un turbogenerador a vapor de doble velocidad y 115 MW, incluyendo la cubierta externa y los auxiliares | Layout of a double speed, 115 MW STG including its outdoor cover and auxiliary equipment

the result, frequent start-ups and shutdowns form an inherent part of the power block operation. A proper design approach is needed to reduce thermal and cyclic stresses on major steam turbine components to maintain their acceptable lifetime. Levels of thermal stress have to be carefully evaluated and confirmed by results and experience from running machines. Last stage blade airfoils and their root attachments have to be designed for an unprecedented number of established cycles, equipped with integrated counters to meter lifetime consumption.

In addition to local thermal stresses on the rotor, casings and blades, rapid power changes lead to significant thermal mismatch among all turbine components, while at the same time, the steam flow path has to be effectively sealed to achieve maximum efficiency. Thermal mismatch has to be reduced by proper selection of materials and in most critical areas by retractable or abradable seals to secure the safe operation of the turboset. Standard vibration control and protection is complemented by a rotor-eccentricity module that enables operator-assisted fast ramp up of the turboset.

During the night shutdown, rapid temperature decay and corrosion may be caused by penetrating air oxygen. This requires a proper design of seal system with auxiliary steam overnight conditioning to find a reasonable optimum between the temperature drop and the parasitic consumption of energy.



Transporte de una sección de PI/BP, 146 t de peso a transportar, se requiere una construcción rápida en el emplazamiento | Transport of an IP/LP section with a transport weight of 146 tonnes requiring rapid on site construction

CSP sites with an excellent intensity of direct irradiation are usually located in harsh, often seismically active, desert areas. Requirements generated by the additional seismic forces of up to 1.5 g must be carefully considered in the mechanical design of the entire turbine. The often-contradicting requirements also have to be considered in the final rotor dynamics evaluation, taking into account the seals, bearings and weight structures to ensure a smooth and rapid start-up to the desired output as quickly as possible.

The CSP power block is exposed to damp, dust, sand, rapidly varying ambient temperature (from several degrees below zero to over 42°C) and sometimes high salinity in the air, however it needs to operate reliably at all times. A well-designed outdoor enclosure for the STG has to protect the critical parts of the equipment from degradation as well as being compact, easy to remove and seismically resistant. At the same time it has to provide sufficient cooling and ventilation to avoid the overheating of electric equipment, sensors and related electronics.

Extremely high availability and easy reparability with limited staff and site resources are expected. As such, the support services with safe operating conditions are equally important. Remote monitoring is being provided that is connected to the turbine's control system to foresee potential issues and propose preventive maintenance actions. Based on the

1,5 g, deben ser cuidadosamente considerados en el diseño mecánico de todo el conjunto de la turbina. Los requisitos habituales de contratación también deben considerarse en la evaluación final de la dinámica del rotor, tomando en consideración los sellos, los rodamientos y las estructuras pesadas para asegurar un arranque suave y rápido hasta la potencia deseada tan rápido como sea posible.

El bloque de potencia de una planta termosolar está expuesto a la humedad, la arena, a condiciones ambientes muy variables (desde varios grados bajo cero hasta más de 42 °C), en algunas ocasiones ambientes de alta salinidad, y tiene que funcionar de forma fiable todo el tiempo. Una carcasa externa para un turbogenerador bien diseñada tiene que proteger a los componentes críticos del equipo frente a la degradación, ha de ser compacta, fácilmente removible, resistente a los seísmos y al mismo tiempo, proporcionar ventilación y refrigeración suficientes para evitar sobrecalentamientos de los equipos eléctricos, sensores y elementos electrónicos.

Se espera una disponibilidad extremadamente alta, así como una reparación sencilla con pocos recursos de espacio y personal. Por tanto, los servicios de apoyo en condiciones seguras de trabajo, son igualmente importantes. Se proporciona monitorización remota conectada con el sistema de control de la turbina, para prever problemas potenciales y proponer acciones de mantenimiento preventivo. En base a la experiencia y el conocimiento detallado del equipo suministrado, se proporcionan piezas de repuesto para aumentar la disponibilidad tanto como sea posible.

Campo solar con torres distribuidas, diseño modular, alta eficiencia óptica y fabricación en serie

Mientras que en la zona oeste de EE.UU., en el Norte de África y Sudáfrica y en Chile, el número de plantas termosolares a escala comercial está creciendo, en otras zonas, con un recurso solar igualmente apropiado, tales como Australia, Asia Central y Oriente Medio, son los demostradores tecnológicos a pequeña escala los que están abriendo el mercado termosolar.

Actualmente se está completando una planta de demostración a pequeña escala con el apoyo financiero de ARENA, y pronto entrará en operación en Jemalong, Nueva Gales del Sur, Australia. Algunas características de este demostrador son:

- Concepto de torre distribuida, con una alta eficiencia óptica y costes de tuberías y obra civil aceptables.
- Receptor solar prefabricado y fácilmente reemplazable.
- Tamaño optimizado de los espejos para alcanzar un precio aceptable de la estructura soporte por m² de área de reflexión.
- Fabricación e instalación automatizada de heliostatos.
- Sistema propio de control autónomo de los heliostatos con auto-calibración.

Este innovador concepto termosolar desarrollado por la colaboración entre Vast Solar y Doosan Škoda, combinará las ventajas del alto factor de concentración típico de las torres con la escalabilidad, redundancia y reparabilidad de los concentradores lineales. La escala de aplicación que se ha propuesto como objetivo está en el rango de 20 a 50 MWe.



Planta termosolar de demostración de Jemalong, Nueva Gales del Sur, de 6 MW térmicos. 5 campos con torres receptoras inclinadas, tuberías de interconexión y bloque de potencia al fondo | 6 MWt CSP demo plant in Jemalong, NSW. 5 fields with tilting receiver towers, interconnection piping and the power block in the background

experience and detailed knowledge of the equipment supplied, spare parts are provided to increase its availability as much as possible.

The distributed tower solar field: modular design, high optical efficiency and mass manufacturing

While in the western part of USA, Northern Africa, South Africa and Chile, the number of commercial-scale CSP plants is growing, in other locations with an equally suitable solar resource such as Australia, Central Asia or the Middle East, small-scale CSP technology demonstrators are opening up the CSP market.

A small scale demo plant with support of ARENA funding is currently being completed and soon to be put into operation in Jemalong, New South Wales, Australia. Some specifics of this CSP technology demo are:

- Distributed tower concept with high optical efficiency and acceptable civil engineering and piping costs.
- Pre-fabricated and easily-replaceable solar receiver.
- Optimised mirror size to achieve an acceptable price for the supporting structure cost per m² of reflection area.
- Automated heliostat manufacture and installation.
- Proprietary autonomous heliostat control with a self-calibration feature

This innovative CSP concept developed by the collaborative efforts of Vast Solar and Doosan Škoda will combine the advantages of the high concentration factor typical for towers with scalability, redundancy and reparability of linear concentrators. The targeted scale for this application is in the range of 20 - 50 MWe.

Doosan Škoda Power
 Tylova 1/57, 301 28 Plzeň, Czech Republic
 +420 378 185 000
 doosanskodapower@doosan.com
 www.doosanskodapower.com

Luboš Prchlik
 Director of Turbogenerator Product
 Doosan Škoda Power
 Director of Turbogenerator Product
 Doosan Škoda Power